Aus dem Zentralen Röntgendiagnostischen Institut
des Städtischen Rudolf-Virchow-Krankenhauses Berlin
Dirigierender Arzt: Privatdozent Dr. med. H. Witt

Bestimmung der günstigsten Expositionszeiten bei der Arteriographie der unteren Extremitäten mit radioaktiv markiertem Serumalbumin

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den
Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Peter Heidbücherl
aus Düsseldorf

1973

Aus dem Zentralen Röntgendiagnostischen Institut
des Städtischen Rudolf-Virchow-Krankenhauses Berlin
Dirigierender Arzt: Privatdozent Dr. med. H. Witt

Bestimmung der günstigsten Expositionszeiten bei der Arteriographie der unteren Extremitäten mit radioaktiv markiertem Serumalbumin

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den
Medizinischen Fachbereichen der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Peter Heidbücherl
aus Düsseldorf

Referent: Privatdozent Dr. med. H. Witt

Korreferent: Professor Dr. K. zum Winkel

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 13. Juni 1973

Inhaltsverzeichnis:

A Einleitung

I Vorteile der Expositionszeitbestimmung

II Die verschiedenen in der Literatur angegebenen Verfahren zur Expositionszeitbestimmung

B Beschreibung des Untersuchungsablaufes bei der Femoralisangiographie einschließlich der Expositionszeitbestimmung mit Radionukliden

I Die zur Verfügung stehenden Geräte

II Die Expositionszeitbestimmung

a. Der Ablauf des Testes
b. Auswertung des Testergebnisses
c. Die radioaktive Testsubstanz

C Ergebnisse und Diskussion

I Beurteilung der Expositionszeitbestimmung durch die Zahl der Wiederholungsserien

II Beurteilung des Testes unabhängig von der Anzahl der Wiederholungsserien

III Mögliche Ungenauigkeiten der Auswertung

IV Beeinflussung des Ergebnisses durch die Methodik der Arteriographie

V Die gefundenen Durchströmungszeiten

VI Vergleich der ermittelten günstigsten Expositionszeiten mit durch oszillographische Untersuchungen gewonnenen Expositionszeiten

D Zusammenfassung

E Literaturübersicht

F Anhang

I Danksagung

II Lebenslauf

A Einleitung

I. Vorteile der Expositionszeitbestimmung

Die Wahl der Expositionszeiten ist bei allen Formen der Angiographie einer der für die Qualität der Aufnahmeserien entscheidensten Faktoren. Für jeden Abschnitt der jeweiligen Gefäßstrecke gibt es nur einen Zeitpunkt der optimalen Kontrastmittelfüllung. Diesen Zeitpunkt jeweils exakt für die Belichtung der einzelnen Aufnahmen vorher festzulegen, ist deshalb von großer Bedeutung. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Methodik für die Angiographie der unteren Extremität.

Die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes und damit auch des Kontrastmittels läßt sich ohne zusätzliche Untersuchungsverfahren nie mit Sicherheit voraussagen, und selbst eine mit exakter Methode bestimmte Durchströmungszeit kann von den unmittelbar zum Zeitpunkt der Kontrastmittelinjektion vorliegenden Verhältnissen geringgradig abweichen durch zwischenzeitliche Veränderung der Kreislaufsituation oder durch direkten Einfluß des Kontrastmittels auf den Gefäßtonus.

Einen praktisch brauchbaren Test zur vorherigen Expositionszeitbestimmung in der Extremitätenarteriographie anzuwenden, bringt durch die weitgehende Vermeidung von Wiederholungsserien folgende Vorteile:

1. Herabsetzen der Strahlenbelastung für den Patienten und für das Personal. Eine Serienarteriographie in der hier beschriebenen Technik mit vier Aufnahmen bedeutet immerhin eine Strahlenbelastung des

Beines von etwa 15 R (≙ 15 rd)(13). Die Ganzkörperbelastung durch das bei der hier beschriebenen Methode der Expositionszeitbestimmung zur Anwendung kommende Radionuklid ist mit etwa 100 mrd gegenüber der Belastung durch eine Wiederholungsserie zu vernachlässigen (51).

2. Verringerung der Komplikationsrate, und zwar soweit die Komplikationen auf das Kontrastmittel zurückzuführen sind und eine Korrelation zur Kontrastmittelmenge besteht (6).

Wenn auch die Komplikationsrate, gemessen an der großen klinischen Aussagekraft der Extremitätenangiographie sehr gering ist, so lohnt es sich trotzdem, diese Rate weiter zu senken, zumal wenn dazu ein relativ geringer Aufwand notwendig ist.

Folgende Komplikationen können auftreten:

a. Thrombosen, die durch lokale Schädigung der Gefäßwand durch das Kontrastmittel verursacht werden können. Diese Gefahr besteht besonders bei engem Gefäßlumen oder herabgesetzter Zirkulation (21).

b. Allgemeine Auswirkungen auf den Kreislauf mit Brechreiz, Schwindel, Kollaps bei älteren, kreislaufmäßig wenig anpassungsfähigen Patienten. (Das Kontrastmittel bewirkt eine Erniedrigung des enddiastolischen, evtl. auch des peripheren Gesamtwiderstandes bei Unfähigkeit, mit einer raschen Steigerung des Herzminutenvolumens zu reagieren.) (26,28).

Kontrastmittelallergien sind in der Regel nicht dosisabhängig; diese Art der Komplikationen ist also durch Vermeidung von Wiederholungsserien nicht zu beeinflussen.

3. Verkürzung der Untersuchungsdauer und dadurch

verringerter Personalaufwand, es sei denn, man verwendet ein Verfahren der Expositionszeitbestimmung, das zeitlich aufwendiger ist als das Anfertigen einer zweiten oder dritten Serie.

4. Erhebliches Einsparen von Filmmaterial und auch Kontrastmittel und damit eine nicht unbedeutende Kostensenkung.

5. Verringerung der mit der Untersuchung für den Patienten verbundenen Belastung durch Vermeiden wiederholter unangenehmer Kontrastmittelinjektionen.

II. Die verschiedenen in der Literatur angegebenen Verfahren zur Expositionszeitbestimmung

Seit Einführung der Serienarteriographie in die Klinik haben sich viele Autoren mit der Problematik der Expositionszeitbestimmung befaßt. Sie sind dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen gekommen, die sich in 5 Gruppen zusammenfassen lassen:

1. Wahl der Expositionszeit unter Zuhilfenahme klinischer Gesichtspunkte
2. Ergänzung der klinischen Gesichtspunkte durch Oszillographie
3. Expositionszeitbestimmung durch Ermittlung der Durchströmungszeit mit Hilfe von
   a. Farbstoffen
   b. radioaktiven Substanzen
4. Verwendung von standardisierten Programmen bei vollautomatisierten Untersuchungsverfahren
5. Erleichterung der Zeitwahl durch Exposition in der hyperämischen Phase nach Ischämie.

Zu 1.

Eine Gruppe von Autoren versucht, ohne zusätzli-

che Untersuchungsverfahren, nur durch die leicht erfaßbaren klinischen Daten wie Tastbefund der Gefäßpulse, Hauttemperatur und -farbe, evtl. Ulcerationen oder Gangrän, anamnestische Angaben und Ratschow-Test zu einer Beurteilung der Strömungsgeschwindigkeit und damit zur Wahl der günstigsten Expositionszeiten zu gelangen. (Der Ratschow-Test ist ein einfaches Verfahren zur Erfassung peripherer Durchblutungsstörungen. Der auf dem Rücken liegende Patient führt bei senkrecht erhobenen Beinen mit den Füßen kreisende Bewegungen aus. Beurteilt werden Hautverfärbungen der Beine, ischämische Schmerzen und die Phase der reaktiven Hyperämie nach Beendigung des Versuches.)
Es wird zugegeben, daß der Erfolg - also letztlich die Qualität der Arteriogramme - in erster Linie vom Umfang der klinischen Erfahrung abhängt (56,57). Damit ist dieses Verfahren nicht ausreichend für Röntgenabteilungen, die die Extremitätenarteriographie gerade einführen oder die nur eine geringe Zahl von Arteriographien pro Jahr durchführen und für solche Institute, in denen die Extremitätenarteriographie zum allgemeinen Ausbildungsprogramm in der Röntgendiagnostik gehört. Aber auch bei großer klinischer Erfahrung wird eine relativ hohe Zahl von Wiederholungsserien nicht zu vermeiden sein; denn zwischen klinischem Bild und Durchströmungszeit gibt es oft erstaunliche Diskrepanzen, und selbst zwischen arteriographisch gesicherten Gefäßbefunden und den jeweiligen Durchströmungszeiten besteht nicht immer eine eindeutige Korrelation. So gibt es bei unauffälligen Gefäßbefunden sowohl normale wie auch deutlich verlängerte Durchströmungszeiten und umgekehrt bei deutlichen Gefäßveränderungen sowohl fast nor-

male wie auch erheblich verlangsamte Blutstromgeschwindigkeiten (4).
Deshalb können auch die verschiedenen Zeitprogramme, die von einzelnen Autoren (5,9,17,32, 43,44) für die entsprechenden vermuteten Gefäßbefunde angegeben werden, nur für einen Teil, wenn auch für den größeren Teil, richtig sein.

Zu welch überraschenden Fehlbeurteilungen man kommen kann, wenn man sich nur von den klinischen Gesichtspunkten leiten läßt, wird auch weiter unten deutlich beim Erfahrungsbericht über die hier zu beschreibende Methode.

Zu 2.

Eine andere Gruppe von Autoren, zu der vor allem PÄSSLER (43,44) gehört, richtet sich bei der Expositionszeitbestimmung nach den Ergebnissen der Oszillographie (10,18,27). Die Oszillographie ermöglicht eine objektive Beurteilung der Gefäßpulse; zwischen Pulsqualität und Durchströmungsgeschwindigkeit besteht aber nicht immer eine eindeutige Korrelation. Sicher stellt die Zuhilfenahme der Oszillographie einen Fortschritt dar gegenüber der alleinigen Beurteilung der klinischen Befunde von Pulsen, Hauttemperatur usw. Es wird jedoch weiter unten nachgewiesen, daß diese Methode ebenfalls mit einer großen Fehlerquote behaftet ist.

Zu 3.

Ermittlung der günstigsten Expositionszeiten mit Hilfe zusätzlicher Untersuchungsverfahren vor der Arteriographie.

a. Farbstoff-Tests

Im wesentlichen bestehen diese Tests darin, die Zeit zwischen der Injektion einer fluoreszieren-

den Lösung in die Arteria femoralis und dem Aufleuchten einer Quaddel am Fuß zu bestimmen. Am Fußrücken wird eine Histamin- oder Procain-Quaddel gesetzt und das Aufleuchten im abgedunkelten Raum unter Bestrahlen der Quaddel mit Wood-Licht beobachtet (15,24). Über den Fuß kann ein Kasten mit Sehschlitz gesetzt werden, um nicht den ganzen Raum verdunkeln zu müssen (20). Nach der Fluoreszin-Injektion entnimmt BRAUNER (8) etwa alle 5 Sekunden einen Bluttropfen aus dem Unterschenkel, den er auf einen Papierstreifen aufträgt. Diesen betrachtet er dann unter der UV-Lampe. HOLLE (29) verwendet Methylenblau. Er bekommt schon durch die Farbverteilung einen Eindruck von den Durchblutungsverhältnissen.
So einfach die Idee dieser Testverfahren auch ist und so gut die Ergebnisse auch sein mögen - sie sind viel zu aufwendig, als daß sie sich als Routineverfahren hätten durchsetzen können.

b. Tests mit Radionukliden

Eine wesentliche Vereinfachung ergibt sich aus der Verwendung von Radionukliden anstelle der Farbstoffe, wobei sich das an Humanalbumin gebundene Jod 131 am meisten durchgesetzt hat (12, 30,40,41,48,53,59). Die Transportzeit des Isotops von der Leistenbeuge bis zum Knie bzw. zum Fuß wird direkt als Expositionszeit für die entsprechenden Aufnahmen eingesetzt. Am konsequentesten haben HUNDESHAGEN und Mitarbeiter (31) dieses Verfahren angewandt. Sie schalten dem Kontrastmittel einen Propf mit Jod 131-markiertem Humanalbumin vor; beim Eintreffen der Aktivität über dem Knie und ihrer Registrierung durch einen Szintillationszähler wird automatisch die Belichtung der Röntgenaufnahme ausge-

löst. Damit gelingen ihnen optimale Darstellungen der arteriellen Gefäße des Oberschenkel- und Kniebereiches. Für Unterschenkel und Fuß werden dann noch automatisch 1 bis 2 Aufnahmen geschossen. Eine einfachere Methode wurde von SCHUMACHER und WITT (49) entwickelt. Die mit ihr gemachten Erfahrungen werden weiter unten mitgeteilt. MORCZEK und PFEIFFER (41) verwenden 5 microcurie J 131 als Natriumjodid. Sie benutzen den Test allerdings nicht routinemäßig zur Expositionszeitbestimmung. DUMAS (12) injiziert 30 microcurie Radiojod in die Armvene, während am Oberschenkel für fünf Minuten eine Stauung angelegt wird. Nach Lösen der Stauung wird das Eintreffen der Impulswelle am Fuß gemessen. Die auf diese Weise ermittelten Werte (durchschnittlich 11,8 Sekunden Durchströmungszeit bei normalem Gefäßbefund) entsprechen den Erfahrungen der meisten anderen Autoren.

Zu 4.

Wenn man bei Vorhandensein entsprechender apparativer Möglichkeiten ein voll automatisiertes Untersuchungsprogramm durchführt, kann die Zahl der qualitativ nicht ausreichenden Aufnahmeserien ganz erheblich gesenkt werden, denn man vermeidet die vielen Ungenauigkeiten und Fehler, die bei der manuellen Bedienung der Geräte und der mündlichen Weitergabe von Kommandos entstehen können. So kommt es, daß Radiologen, deren Institut mit den modernsten Geräten für die Serienarteriographie ausgerüstet ist, ganz auf eine Expositionszeitbestimmung verzichten. Es werden wenige Standardprogramme (2,55) für den zeitlichen Ablauf der Expositionen benutzt; welches im einzelnen Fall von ihnen gewählt wird, bestimmt unmittelbar der klinische Aspekt der zu

untersuchenden Extremitäten. Da die technischen Möglichkeiten gegeben sind, werden fast nur einzeitige Aorto-Arteriographien gemacht (5). GILLY (19) verwendet 9 Filme vom Format 35x35 cm, GANSCHOW (16) 13 Filme vom gleichen Format. Bei Verwendung von 13 Filmen dürfte eine exakte Expositionszeitbestimmung sowieso weniger notwendig sein. BACHMANN (2) verwendet bei seinen Aorto-Arteriographien nur 5 Filme vom Format 35x35 cm; bei Anwendung von 3 standardisierten Programmen erzielt er in 65 % der Serien eine gute Gefäßdarstellung von der Aorta bis zu den Unterschenkeln. (Also in 35 % muß die Aufnahmeserie wiederholt werden.)

Zu 5.

Es muß noch eine Methode zur Vereinfachung der Zeitwahl bei der Arteriographie erwähnt werden, die von BOYSEN und DAHN (7) beschrieben wird. Sie injizieren das Kontrastmittel zur Zeit der reaktiven Hyperämie nach vorheriger artefizieller Ischämie der unteren Extremität. Damit erreichen sie neben einer besseren Kontrastmittelfüllung distal von Verschlüssen und einer besseren Beurteilbarkeit von Kollateralen eine Verkürzung der Expositionszeiten. Während normalerweise nach ihren Angaben die erste Aufnahme 4 Sekunden und die Aufnahme für die Unterschenkelgefäße 13 Sekunden nach Kontrastmittelinjektion eine optimale Darstellung bieten, verkürzt sich nach vorheriger Ischämie das Zeitintervall auf zwischen 2 und 7 Sekunden, womit die Wahl der Expositionszeiten erleichtert wird. Eine Darstellung der Fußarterien ist bei dieser Technik nicht möglich, da das Kontrastmittel wegen der gesteigerten Durchblutung schon weiter proximal in das venöse System abfließt.

B Beschreibung des Untersuchungsablaufes bei der Femoralisangiographie einschließlich der Expositionszeitbestimmung mit Radionukliden

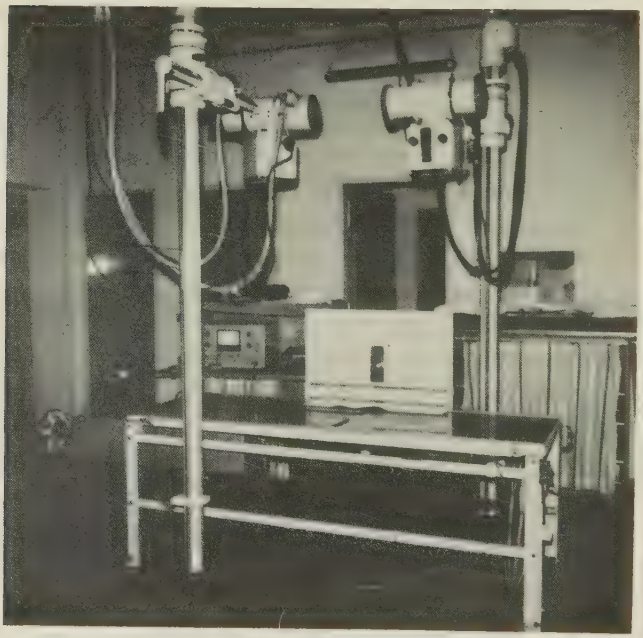
Die Möglichkeit, durch Standardisierung eines automatisch ablaufenden Programmes ohne vorherige Expositionszeitbestimmung die Qualität der Extremitätenarteriographie erheblich zu verbessern und die Zahl der Wiederholungsserien auf ca. 35 % zu senken, hat die Problematik nicht völlig beseitigt. Denn erstens verfügen bisher wenige Institute über die dazu notwendigen kostspieligen Vorrichtungen, - für viele wird sich ihre Anschaffung vielleicht nie lohnen wegen relativ geringer Ausnützungsmöglichkeiten - und zweitens erhebt sich die Frage, ob nicht die Kombination eines automatisierten Untersuchungsverfahrens mit einem guten, nicht aufwendigen Test zur Expositionszeitbestimmung ein noch besseres Ergebnis bringen würde als bei Benutzung standardisierter Zeitprogramme.

Deshalb soll hier eine von SCHUMACHER und WITT (49) angegebene Methode der Expositionszeitbestimmung beschrieben werden, die wegen ihrer Genauigkeit und relativen Einfachheit mitteilenswert erscheint.

I Die zur Verfügung stehenden Geräte

In der röntgendiagnostischen Abteilung des Rudolf-Virchow-Krankenhauses Berlin stehen für die Serienarteriographie der unteren Extremitäten zur Verfügung:

Abb. 1 - Foto der Gesamtanlage



1. Die Wentzlik-Kassette (58), eine Vierkant-Trommel, an deren Seitenflächen je zwei Kassetten für Filme vom Format 20 x 40 cm für die erste und vierte Aufnahme der Serienangiographie und je zwei Kassetten für Großformatfilme (20 x 96 cm) befestigt werden. Die Trommel befindet sich direkt unter dem

Buckytisch. Mit Hilfe eines Handrades läßt sie sich jeweils um 90 Grad drehen.

2. Bei dem verwandten Röntgengerät handelt es sich um
   a. eine Röhre mit schnelldrehender Anode mit einem Aluminiumfilter von 2 mm Dicke (BIANGO-LUX der Firma Siemens)
   b. einen Schalttisch der Firma Siemens (TRIDOROS 5 S), ein Sechsventilgerät.

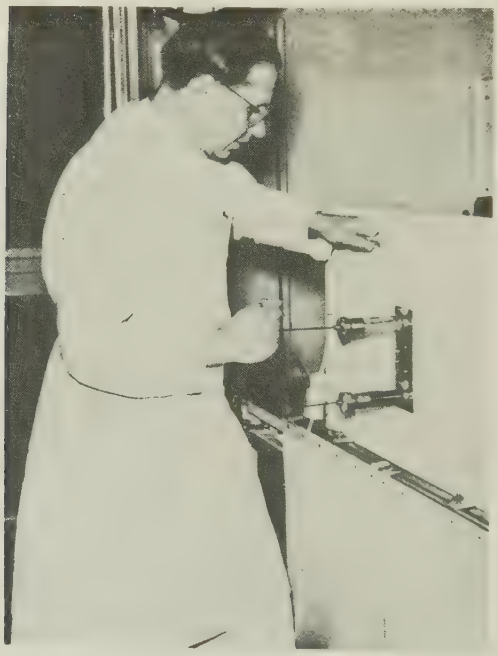
Ein Keilfilter aus Aluminium an der Tiefenblende gleicht den Dickenunterschied der Gliedmaßen in der Belichtung aus.

Alle Untersuchungen werden in Lokalanaesthesie durchgeführt. Nach retrograder Punktion der Arteria femoralis wird eine Probeaufnahme unter Valsalva-Bedingungen gemacht, wordurch oft eine Gefäßdarstellung bis hoch zur Aortenbifurkation gelingt.

Das Kontrastmittel wird unter möglichst hohem Druck manuell injiziert. Dazu wird eine von BAERWOLFF und SCHACHERL (3) beschriebene Vorrichtung verwendet (Abb.2), die außer Gewährleistung des Strahlenschutzes noch den Vorteil der Fixierung der Spritze und der erschütterungsfreien Injektion bietet. In einer Holzwand mit eingelegtem Bleiblech, die sich in den Schienen des Untersuchungstisches verschieben läßt, wird die kontrastmittelgefüllte Spritze fixiert, von der Holzwand führt ein elastischer Verbindungsschlauch zur in der Arterie liegenden Injektionskanüle. Eine weitere, mit 0,9-prozentiger NaCl-Lösung gefüllte Spritze befindet sich unterhalb der kontrastmittelgefüllten Spritze. Über einen Dreiwegehahn kann wahlweise Kontrastmittel oder NaCl gespritzt werden. Damit kann nach Beendigung der Untersuchung die im Gefäß liegende Kanüle offengehalten werden. Bei einer Wiederho-

lung der Untersuchung ist so keine erneute Punktion notwendig.

Abb. 2 - Das Strahlenschutzbrett (Abb. aus BAERWOLFF und SCHACHERL:"Eine universelle Strahlenschutz- und Injektionsvorrichtung für Angiographien", Fortschr.Röntgenstrahlen 89,1oo (1958))



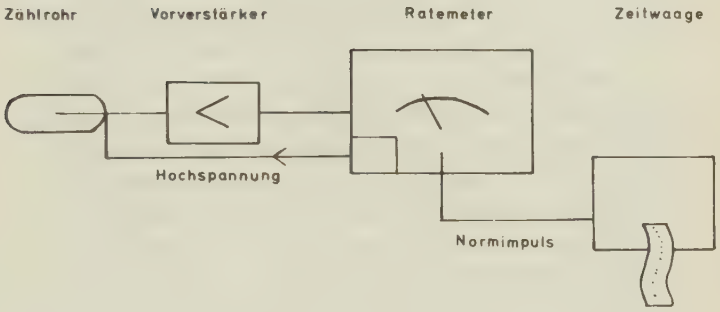
II Die Expositionszeitbestimmung

a. Der Ablauf des Testes

Nachdem die richtige Lage der Kanüle durch die Probeaufnahme festgestellt wurde, erfolgt die Expositionszeitbestimmung: 50 mikrocurie des an mensch-

lichem Serumalbumin gebundenen Jod 131 (RIHSA) werden in die Arteria femoralis injiziert.

Abb. 3 - Schema der Anordnung für die Expositionszeitbestimmung



Ein Zählrohr registriert die am Fuß eintreffende Aktivität, deren Höhe und zeitliche Folge an den Ausschlägen eines Ratemeters abzulesen sind. Ein Punktschreiber hält die Impulsfolge auf einem Papierstreifen fest.
Die dazu benutzten Geräte sind:

1. Ein Zählrohr. Es handelt sich um das Gamma-Zählrohr (Halogen) FHZ 1 J der Firma Frieseke und Hoepfner, Erlangen-Bruck. Das Stativ, an dem es befestigt ist, wird so gestellt, daß das Zählrohr unmittelbar der Fußsohle des Patienten an-

liegt. Bei Verwendung eines modernen Szintillationszählers käme man mit einer um das Zehnfache verminderten Menge an radioaktiver Substanz aus und könnte die sowieso weitgehend zu vernachlässigende Strahlenbelastung noch weiter verringern.

2. Das Strahlungsmeßgerät FHK 1/57 A (Firma Frieseke und Hoepfner, Erlangen-Bruck), ein lineares Ratemeter zum Anschluß von Geiger-Müller-Zählrohren. Es gibt den zeitlichen Mittelwert der Impulsfolge wieder. Für die Expositionszeitbestimmung ist das Gerät auf einen Meßbereich von 10^3 imp/min eingestellt. Ein Zeigerausschlag ist jeweils mit einem akustischen Signal verbunden. Eine exakte Ermittlung des Zeitpunktes, an dem eine Häufung der Signale einsetzt, wird dadurch erleichtert, daß an das Ratemeter ein Punktschreiber angeschlossen ist,

3. eine Zeitwaage für Uhren ("Ticko-graf" der Firma Bandelin Electronic, Berlin 45). Dieses Gerät hält jeden Zeitpunkt einer vom Ratemeter registrierten gesteigerten Impulsrate auf einem mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/sec ablaufenden Papierstreifen fest.

b. Auswertung des Testergebnisses

Durch einfaches Ausmessen der Strecke vom Beginn der Untersuchung bis zur Häufung der Impulsfolge wird die Durchströmungszeit der radioaktiven Substanz von der Leistenbeuge bis zur Fußsohle ermittelt.
Da jedoch jeder Zeitpunkt einer gesteigerten Impulsrate unabhängig von der absoluten Anzahl der

Impulse gleichförmig registriert wird, und damit nur der Zeitpunkt des Eintreffens der Impulswelle, nicht jedoch ihres Maximums erfasst wird, hat es sich als günstig erwiesen, für die Auswertung des Streifens bei nicht eindeutigen Ergebnissen den Zeitpunkt des ersten Zeigerausschlages über 500 imp/min mit der Stoppuhr festzuhalten.

Abb. 4 - Beispiel für die Festlegung der Expositionszeiten anhand der ermittelten Durchströmungszeit (12 sec).

Schwierigkeiten bei der Auswertung des Teststreifens ergeben sich bei insuffizientem Blutkreislauf und durch sehr schlechte Durchblutungsverhältnisse der betreffenden Extremität, z.B. beim Vorliegen mehrerer Gefäßabbrüche oder ungenügend ausgebildetem Kollateralkreislauf. Hierbei kann der Aktivitäts-

anstieg sehr spät und langsam einsetzen, gelegentlich kommt es zum völligen Fehlen eines Häufigkeitsgipfels (48). Bei venösem Stau, z.B. beim postthrombotischen Syndrom, kommt es zu einem sehr lang anhaltenden Häufigkeitsgipfel, einer Plateaubildung, evtl. mit Ausbildung eines zweiten Peaks durch Durchmischung.
Zu beachten ist auch, daß es durch direkte Strahlung von der mit radioaktiver Substanz gefüllten Spritze zum Zählrohr zur Ausbildung eines ersten Peaks kommen kann; ein zweiter, späterer Aktivitätsanstieg entspricht erst dem in den Fußgefäßen.

c. Die radioaktive Testsubstanz

Als radioaktive Substanz wird an Humanalbumin gebundenes J 131 (RIHSA) verwendet (12,30,36,40,41, 48,53,59).
J 131, ein Beta- und Gammastrahler, hat eine Halbwertzeit von 8,1 d; in der angegebenen Verbindung hat es eine biologische Halbwertzeit von 3 - 4 Tagen, wenn die Schilddrüse mit Jod abgesättigt ist. Das wird erreicht, indem der Patient am Tage vor der Gefäßdarstellung einen Eßlöffel einer 4 %-igen Jodkalilösung erhält.
Das RIHSA hat gegenüber anderen künstlichen Radionukliden und gegenüber anderen Verbindungen folgende Vorteile:

1. Es verläßt aus kolloidosmotischen Gründen die Blutbahn praktisch nicht, man mißt also sicher intravasale Aktivität.

2. Es ist relativ lange haltbar.

3. Es besitzt die vielseitigsten Verwendungsmöglichkeiten für verschiedene nukleardiagnostische Verfahren - es muß also nicht speziell

für die Expositionszeitbestimmung bereitgehalten werden.

Sehr gut eignet sich auch Technetium, ein kurzlebiges Nuklid, durch dessen Anwendung sich die Strahlenbelastung noch weiter reduzieren läßt.

Nach Auswertung des Teststreifens wird das Belichtungsprogramm festgelegt, und zwar entspricht der Zeitpunkt des Impulsmaximums der Expositionszeit für die Aufnahme der Fußarterien. Beim Zeitabstand der übrigen Aufnahmen - Oberschenkel, Knieregion und Unterschenkel - wird der Sitz des vermuteten Gefäßabbruches berücksichtigt.

Das Kontrastmittel, normalerweise 40 - 50 ml, wird rasch injiziert. Zunächst wurde Urografin (WZ), jetzt wird Angiografin (WZ), beides von der Fa. Schering, verwendet. Nach Injektion der ersten Hälfte erhält die am Schalttisch stehende Assistentin das Kommando für die Auslösung der ersten Exposition. Die weiteren Aufnahmen werden entsprechend dem vorher gewählten Zeitprogramm ausgelöst, nach jeder Exposition dreht ein Assistent die Wentzlik-Kassette um 90 Grad und damit jeweils einen neuen Film in den Strahlengang.

Die Kanüle wird bis zur Besichtigung der automatisch in 90 Sekunden entwickelten Filme belassen; wenn keine Wiederholungsserie erforderlich ist, wird sie entfernt und ein Druckverband angelegt.

Ergebnisse und Diskussion

Von den 337 im Zeitraum vom 7.3.1958 - 4.6.1970 durchgeführten Femoralisarteriographien wurde in 176 Fällen die Expositionszeit mit dem angegebenen Test vorausbestimmt. Dazu kommen 8 im An-

schluß an Aortographien angefertigte Arteriographien, bei denen die Durchströmungszeit von der Aortenpunktionsstelle bis zum Fuß ermittelt wurde. Nach Auslassen von 7 Serien, die aus verschiedenen technischen Gründen unbrauchbar sind, verbleiben 175 Femoralisarteriographien für die Beurteilung. Die Auswertung erfolgt unter zwei Gesichtspunkten:

1. Zu welchen Ergebnissen hat die vorherige Expositionszeitbestimmung in diesen 175 Fällen geführt? Erwies sich der Test als sinnvoll in der klinischen Anwendung?

2. Wie exakt ist das Verfahren, stimmt der Zeitpunkt des Impulsmaximums mit der Durchströmungszeit bis zum Fuß überein? Wie weit könnte die Zahl der Wiederholungsserien gesenkt werden, wenn sich sämtliche anderen Fehlerquellen und Ungenauigkeiten ausschalten ließen?

I. Beurteilung der Expositionszeitbestimmung durch die Zahl der wiederholungsserien

Bei 135 der 175 Arteriographien, das sind 77,15 %, war nur eine Aufnahmeserie erforderlich. Bei 40 Arteriographien, das sind 22,85 %, mußten Aufnahmen wiederholt werden, und zwar waren 31 Wiederholungen der ganzen Serie, 7 Wiederholungen von 2 Aufnahmen, zwei Wiederholungen einer Aufnahme erforderlich.
Vergleichbare Zahlenangaben aus anderen Instituten liegen nicht vor; mit den vorgelegten Zahlen erscheint jedoch die klinische Brauchbarkeit erwiesen.
Ein Vergleich mit der etwa gleich großen Gruppe (161 Fälle) der Arteriographien aus dem gleichen Zeitraum, bei denen keine vorherige Expositionszeitbestimmung erfolgte, ist vor allem deshalb

nicht möglich, da bei den Serien ohne Expositionszeitbestimmung im Durchschnitt wesentlich geringere pathologische Gefäßveränderungen vorliegen. Der Test wurde besonders in schwierigen Fällen angewandt, während in unkomplizierten Fällen oft auf ihn verzichtet wurde.

II Beurteilung des Testes unabhängig von der Anzahl der Wiederholungsserien

Die Exaktheit der Testergebnisse tritt erst deutlich zutage, wenn man untersucht, ob jeweils die Aufnahme, die zum vorher ermittelten für die Fußaufnahme günstigsten Zeitpunkt angefertigt wurde, eine gute Kontrastierung der peripheren Gefässe zeigt. Kriterium konnte dabei nicht immer eine gute Fußgefäßfüllung zum günstigsten Expositionszeitpunkt sein. Mehrmals war, was durch zusätzliche Aufnahmen zu späteren Zeitpunkten bewiesen wurde, keine distalere Füllung als etwa in Höhe der Malleolengabel möglich, z.B. beim Vorliegen mehrerer Lichtungsverschlüsse und durch vorzeitiges Abströmen in die Venen über av-Anastomose beim postthrombotischen Syndrom (24). Diese Beurteilung ist unabhängig von der Zahl der Wiederholungsserien, denn diese waren am häufigsten nicht durch Ungenauigkeit der Testergebnisse, sondern technisch und durch Besonderheiten des jeweiligen Gefäßbefundes bedingt (Tabelle 1).
In 138 Fällen, das sind 79 %, ergab sich eine vollständige Übereinstimmung der Expositionszeit mit der Transportzeit. In 17 Fällen lag der für die Fußgefäßdarstellung ermittelte günstigste Zeitpunkt etwas zu früh, in 12 Fällen etwas zu spät, die Abweichungen sind jedoch zu vernachlässigen. Für klinische Erfordernisse ausreichend genau erwies sich der Test also in zusammen 167 Fällen, das sind 95,4%. In 8 Fällen, das sind 4,6 %, muß das Ergebnis der Expositionszeitbestimmung als falsch bezeichnet werden.

Tabelle 1

Wiederholungsserien oder zusätzliche Aufnahmen waren aus folgenden Gründen notwendig:	Anzahl
a. Aus technischen Gründen, z.B. Bewegungsunschärfe, Dezentrierung der Röhre, Mißverständnis bei den Kommandos.	9
b. Es fand sich zwar eine periphere Füllung zum erwarteten Zeitpunkt, die Füllung war jedoch sehr flau bzw. es war nur eines der großen Unterschenkelgefäße gefüllt.	6
c. Bei Füllungsdefekten waren Abbruch und Wiederauffüllung nicht auf einem Bild, was bei der Beschränkung auf Serien mit vier Filmen gelegentlich vorkommt.	5
d. Es wurde der (nicht gelungene) Versuch gemacht, mit verlängerten Zeiten eine periphere Füllung zu erreichen.	5
e. Wiederholung mit veränderten Zeiten war notwendig trotz guter peripherer Füllung zur Darstellung der Gefäßversorgung eines Weichteiltumors am Unterschenkel.	1
f. Die Untersucher richteten sich bei der Wahl der Expositionszeiten nicht nach den ihnen unglaubwürdig erscheinenden Testergebnissen. Durch Wiederholungsserien, bei denen die Ergebnisse berücksichtigt wurden, bestätigte sich ihre Richtigkeit.	6
g. Das Testergebnis wich so stark von der tatsächlichen Transportzeit ab, daß die vorher ermittelten Expositionszeiten zu unzureichenden Aufnahmeserien führten.	8
	40 (22,85%)

Bei den 8 Fällen, in denen die notwendigen Wiederholungen auf falsche Aussagen des Testes zurückzuführen sind, fanden sich Abweichungen von 5 bis 20 Sekunden von den durch die Arteriographie gesicherten Durchströmungszeiten; in drei Fällen lagen die ermittelten Expositionszeiten über, in fünf Fällen lagen sie unter den tatsächlichen Werten. Sieben dieser acht Serienarteriogramme zeigen hochgradige pathologische Gefäßveränderungen mit mehreren Abbrüchen, in einem Fall war der Befund weniger ausgeprägt.

Abb. 5 zeigt ein Beispiel für eine Wiederholungsserie, die notwendig war, weil das Ergebnis der Expositionszeitbestimmung zunächst nicht berücksichtigt wurde. Ermittelt werden sollten die Durchblutungsverhältnisse eines beetartigen Hauttumors im distalen Drittel des rechten Unterschenkels. Klinisch bestand kein Anhalt für arterielle Durchblutungsstörungen. Bei der Expositionszeitbestimmung trat eine Häufung der Impulse erst nach 60 Sekunden auf. Da das Ergebnis unglaubhaft erschien, wurde folgendes Zeitprogramm festgelegt: 7,12,17 und 22 Sekunden. Eine Gefäßkontrastierung war nur bis zur Mitte des Unterschenkels erfolgt. Nach einer zweiten Kontrastmittelinjektion wurde bei 24,34,45 und 60 Sekunden exponiert. Nach 45 Sekunden zeigte sich eine Gefäßdarstellung bis zum proximalen Bereich des Mittelfußes, nach 60 Sekunden eine Darstellung der Arteria plantaris lateralis bis zum Bereich des distalen Metatarsus. Die dargestellten Gefäße zeigen keine pathologischen Veränderungen.

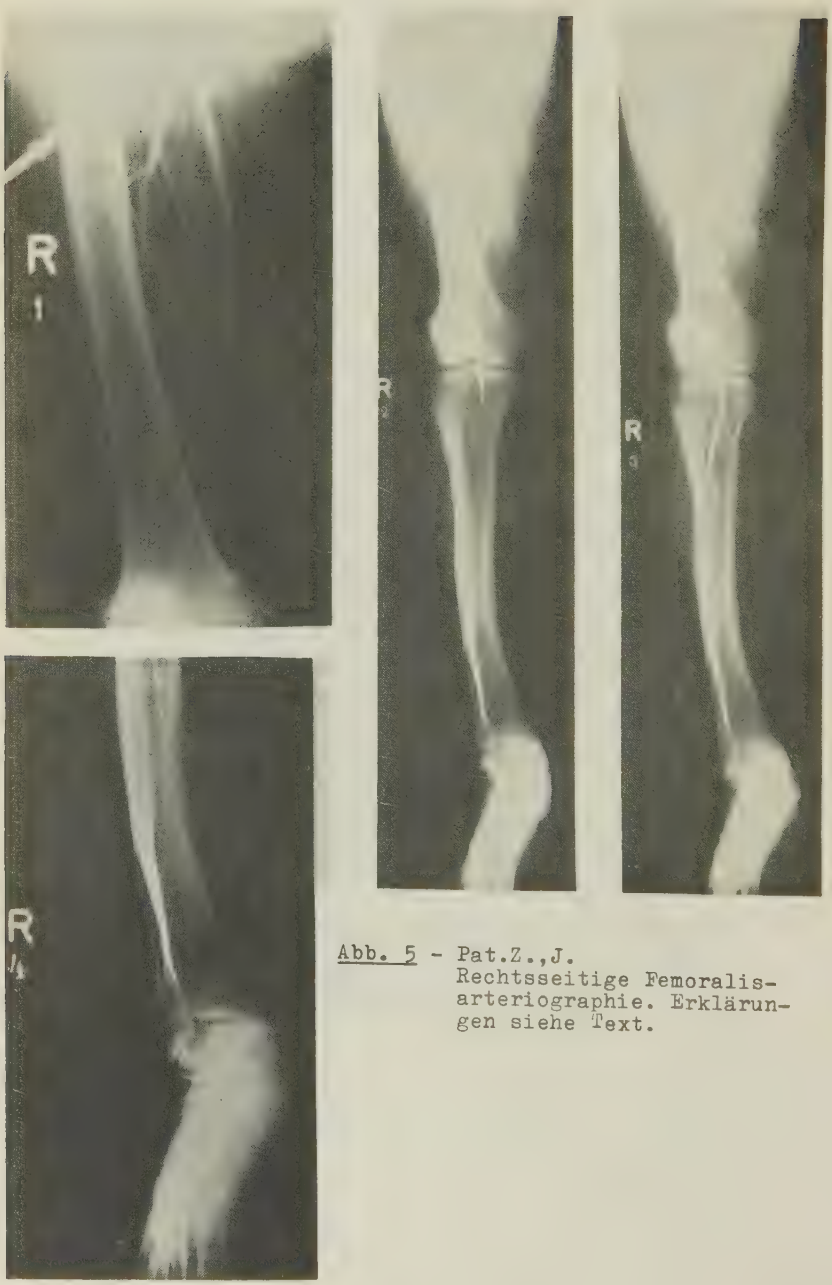


Abb. 5 - Pat.Z.,J.
Rechtsseitige Femoralis-arteriographie. Erklärungen siehe Text.

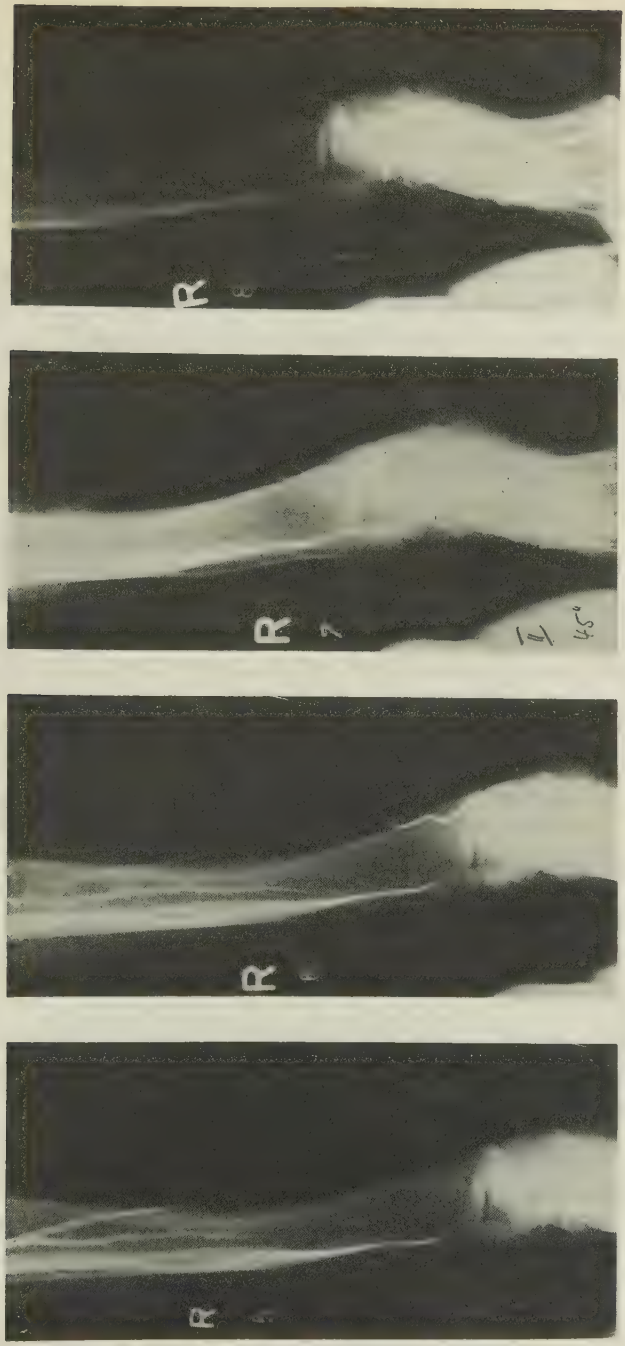


Abb. 5 - Fortsetzung

III Mögliche Ungenauigkeiten der Auswertung

Es muß gesagt werden, daß die Auswertung gewisse unvermeidliche Unsicherheitsfaktoren enthält.

1. Bei der manuellen Bedienung und der mündlichen Wiedergabe der Kommandos ist nicht sicher zu sagen, ob die Expositionen tatsächlich immer auf die Sekunde genau zum vorher festgelegten Zeitpunkt erfolgten. Allerdings gleichen sich die dadurch entstandenen Fehler bei einer größeren Anzahl von Aufnahmeserien aus.

2. Vor allem in den ersten Jahren nach Einführung des Untersuchungsverfahrens wurde gelegentlich das Testergebnis nicht unmittelbar als Zeitpunkt der vierten Aufnahme der Serie eingesetzt, sondern die dritte und vierte Aufnahme wurden zeitlich um das Ergebnis gruppiert. Wenn in diesen Fällen die Unterschenkelaufnahme kaum eine Kontrastierung zeigt, die Fußgefäßaufnahme aber eine gute, so läßt sich nicht mit Sicherheit sagen, ob die Aufnahme genau zum ermittelten Zeitpunkt eine ausreichende periphere Kontrastierung ergeben hätte.
Diese Faktoren müssen entsprechend bei der Beurteilung der Aussagekraft des angegebenen Testverfahrens berücksichtigt werden: In den 40 Wiederholungsserien bzw. zusätzlichen Aufnahmen sind die Serien enthalten, mit denen der Test entwickelt und erprobt wurde. Aus der Aufschlüsselung der Gründe für Wiederholungsserien ergibt sich, daß unter Vermeidung der anfänglich wegen mangelnder Erfahrung gemachten Fehler eine weitere Senkung der Zahl der Wiederholungsserien möglich ist, was auch

den in den letzten Jahren gemachten Erfahrungen entspricht.

IV Beeinflussung des Ergebnisses durch die Methodik der Arteriographie

Berücksichtigt werden muß auch, daß es sich um eine einfache Ausrüstung für die Serienarteriographie handelt. Die Bedienung der Serienkassette geschieht manuell und die Koordination des Untersuchungsablaufes erfolgt in wesentlichen Punkten mündlich. Dadurch bedingt treten gelegentlich Fehler und Ungenauigkeiten auf, die zu Wiederholungen zwingen.
Außerdem gehört die Femoralisangiographie zum Ausbildungsprogramm für den Facharzt für Röntgenologie. Damit sind durch personellen Wechsel der ausführenden Ärzte ebenfalls Fehlermöglichkeiten gegeben.

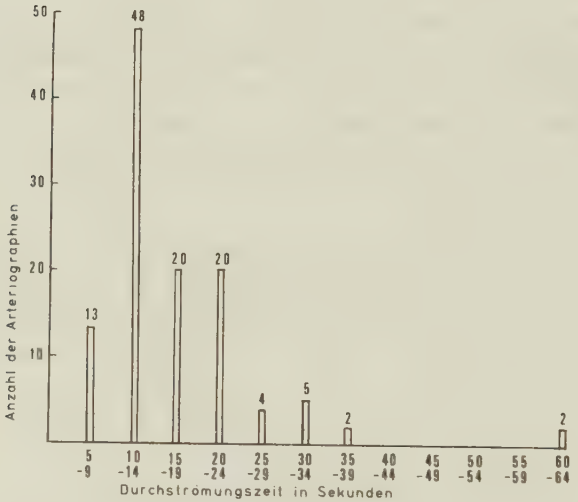
V Die gefundenen Durchströmungszeiten

In Übereinstimmung mit den Angaben anderer Autoren (12,19) fanden wir bei Gefäßgesunden in der Regel eine Durchströmungszeit von der Leistenbeuge bis zur Fußsohle von 10 Sekunden.

Die mittlere Durchströmungszeit in durch exakte zeitliche Übereinstimmung mit dem arteriographischen Befund gesicherten Fällen beträgt 16,53 Sekunden. Diese deutlich gegenüber dem Normalen verlängerte Zeit entspricht den in der Regel stark pathologischen Gefäßveränderungen der untersuchten Patienten. Die weitaus größte Anzahl der Patienten weist eine Durchströmungszeit von

der Leistenbeuge bis zur Fußsohle von 10 bis 20 Sekunden auf (Abb. 6).

Abb. 6 - Die Häufigkeit der verschiedenen Durchströmungszeiten bei 114 Arteriographien



Das eingangs erwähnte häufige Fehlen einer Korrelation zwischen Blutstromgeschwindigkeit und Gefäßbefund läßt sich auch aus dieser Untersuchungsgruppe bestätigen. So finden sich in der Gruppe der Durchströmungszeiten über 25 bis 60 Sekunden arteriographische Bilder von völligem Fehlen pathologischer Befunde bis zu hochgradigen Veränderungen mit multiplen Gefäßabbrüchen (s. auch Abb. 5).

VI Vergleich der ermittelten günstigsten Expositionszeiten mit durch oszillographische Untersuchungen gewonnenen Ergebnissen

Diese Mitteilungen über die Erfahrung mit der Expositionszeitbestimmung verweisen deutlich auf die Grenzen der Festlegung des Zeitprogrammes nur nach klinischen Gesichtspunkten und nach den Ergebnissen der Oszillographie.

PAESSLER (43) gibt für einzelne oszillographische Befunde Expositionszeiten an, mit denen Wiederholungsserien weitgehend vermieden werden könnten. Da viele Patienten unserer Untersuchungsgruppe auch oszillographisch untersucht wurden, ist ein Vergleich möglich.

1. PAESSLER gibt für normale oszillographische Befunde eine Dauer der Aufnahmeserie von 8 bis 10 Sekunden an - in 10 unserer Fälle mit unauffälligem Oszillogramm finden sich arteriographisch bestätigte Expositionszeiten zwischen 11 und 40 Sekunden.

2. Bei einem Abfall der oszillographischen Ausschläge in der Mitte des Oberschenkels und leichten Zeichen für Durchblutungsstörungen am Unterschenkel wird von PAESSLER eine Seriendauer von 11 bis 13 Sekunden angegeben. Unsere Werte lagen in 25 Fällen zwischen 4,5 und 32 Sekunden, wobei sich die Werte ziemlich gleichmäßig zwischen den beiden Extremen verteilten.

3. Bei 19 Fällen mit gutem Oberschenkel- und pathologischem Unterschenkeloszillogramm, für die PAESSLER eine Seriendauer von 12 - 14 Sekunden angibt, lagen unsere günstigsten Expositionszeiten für die Fußgefäßdarstellung

zwischen 6 und 36 Sekunden.

4. Für Femoralisangiographien bei hochgradig pathologischen Oszillographiebefunden wird eine Seriendauer von 14 bis 17 Sekunden empfohlen. In 9 Fällen mit entsprechendem Oszillogramm in dieser Untersuchungsgruppe lagen die günstigsten Expositionszeiten für die letzte Aufnahme zwischen 12 und 30 Sekunden.

D

Zusammenfassung

Die Expositionszeitbestimmung in der Femoralisarteriographie mit Radionukliden ist der Festlegung des Zeitprogrammes nur mit Hilfe klinischer Gesichtspunkte oder der Oszillographie überlegen. Sie ermöglichte in der Röntgendiagnostischen Abteilung des Rudolf-Virchow-Krankenhauses Berlin ein Senken der Zahl von teilweisen oder vollständigen Wiederholungsserien auf etwa 23 %. Nur in 8 von 175 Fällen (etwa 5 %) war dabei die Notwendigkeit der Wiederholung auf ein falsches Ergebnis der Expositionszeitbestimmung zurückzuführen. Der Aufwand für den Test ist verglichen mit anderen angegebenen Verfahren für die Expositionszeitbestimmung gering und voll gerechtfertigt durch die Verbesserung der Qualität der Arteriogramme und die Verringerung der Zahl der Wiederholungsserien. Institute, in denen nukleardiagnostisch gearbeitet wird, benötigen zur Einführung des Testes kaum zusätzliche Geräte. Das Verfahren erscheint besonders geeignet für Institute, die die Femoralisarteriographie neu in ihr Untersuchungsprogramm aufnehmen, zeigt doch die vorgelegte Untersuchung, daß auch mit einer relativ einfachen Röntgenausrüstung und bei geringer angiographi-

scher Erfahrung der Untersuchendengute Resultate erzielt werden können.
Die beschriebene apparative Ausstattung für die Arteriographie selbst entspricht allerdings nicht mehr den Anforderungen, die in einer großen Klinik an einen modernen Arbeitsplatz für periphere Arteriographie gestellt werden.
Da jedoch in zunehmendem Maße diese Untersuchungen auch in die röntgenologische Fachpraxis Eingang finden, wird dieser einfachen Ausrüstung auch in Zukunft eine gewisse Bedeutung zukommen.

In Instituten, denen bereits die apparativen Voraussetzungen für die einzeitige Aorto-Arteriographie zur Verfügung stehen, wäre zu überprüfen, ob nicht das angegebene Testverfahren zur Bestimmung der günstigsten Expositionszeiten der Verwendung von standardisierten Programmen überlegen ist.

- - - - - - - - - - - -

E Literaturübersicht

1. BACHMANN,D.: "Arterieller Spasmus als Fehldeutungsmöglichkeit bei der Angiographie", Röntgenbl.19,478 (1966)

2. BACHMANN,D., MITTELSTAEDT,L.: "Die einzeitige Aorto-Arteriographie",Röntgenstr. 19,14 (1968)

3. BAERWOLFF,G., SCHACHERL,M.: "Eine universelle Strahlenschutz-u. Injektionsvorrichtung f. Angiographien", Fortschr.Röntgenstr. 89,100 (1958)

4. BÄTZNER,K., BAYER,H.: "Arteriographische Beobachtungen über die Kreislaufgeschwindigkeit in zirkulationsgestörten Beinen", Zschr. Kreislaufforsch. 40,74 (1951)

5. BELAN,A., POSPICHAL,J., HACO,M.: "Die Bedeutung der Aorto-Arteriographie mit dem Blattfilmwechsler", Fortschr.Röntgenstr. 111/613(1969)

6. BÖHME,H.: "Komplikationsmöglichkeiten bei der Arterio-u.Aortographie", Med.Welt 1897 (1965)

7. BÖ[illegible], DAHN.: "Femoral Angiography During Maximal Blood Flow", Acta radiol.,N.s.Diagn. 3,543 (1965)

8. BRAUNA[illegible]: "Eine neue Methodik zur Bestimmung d. Kreislaufzeit zur Diagnostik von Durchblutungsstörungen", Wien.klin. Wschr. 65,1016 (1953)

9. BREUNIG,J.: "Zur Extremitätenangiographie", Radiologe 7,133 (1967)

10. DEMBROWSKI,U.: "Oszillographie und Hautthermometrie", Med.Welt 1891 (1965)

11. DENCK,H., OLPERT,F.: "Angiographie in der Chirurgie", Med.Klinik 11,635 (1968)

12. DOM[illegible]: "Mesure de la circulation artérielle périphérique par les isotopes", Presse méd. 71,2206 (1963)

13. EMRICH,D.: "Nuklearmedizin, Funktionsdiagnostik" Thieme, Stuttgart 1971

14. ENGER,H.: "Kritischer Beitrag z.angiologischen Diagnostik b.peripheren Gefäßerkrankungen", Dtsch.Ges.wes. 18,1631 (1963)

15. FONTAINE,R.: "Angiographie der Gliedmaßen", 72.Tagung d.dt.Ges.f.Chirurgie, München 1955,Langenbecks Archiv f.klin.Chir. (1955)

16. GANSCHOW,K.: "Bedienungsvereinfachung bei Beinarteriographien durch elektronische Programmsteuerung", Röntgenstr. 19,25 (1968)

17. GEORGIAS,D.: "Die Technik der Extremitätenangiographie", Radiol.diagn. (Berlin 5,127 (1964)

18. GESENIUS,H.: "Oszillographie und Arteriographie", Dtsch.med.Wschr. 67,1 (1941)

19. GILLY,G.: "Beitrag zur Standardisierung angiographischer Untersuchungen", Fortschr.Röntgenstr. 106,608 (1967)

20. GOTTLOB,R., GYRI,W., BAYER,O.: "Die Darstellung d. Beinarterien nach Aortographien mit Hilfe der intraarteriellen Kreislaufzeitbestimmung", Chir. 24, 353 (1953)

21. GOTTLOB,R.: "Über die lokalen Kontrastmittelschäden bei der Angiographie", Med. Welt 1893 (1965)

22. HAIMOVICI,H.: SHAPIRO,H., JACOBSON,H.G. "Serial Arteriography in Occlusive Disease", Amer.J.Roentgenol. 83, 1042 (1964)

23. HASSE,H.M., DEMBROWSKI,U.: "Angiographische Darstellung von Arterienverschlüssen und ihre Kollateralbahnen an den unteren Gliedmaßen", Fortschr.Röntgenstr. 86,153 (1957)

24. HASSE,H.M.: "Die Angiographie", in:Angiologie herausg. M. Ratschow, Thieme, Stuttgart (1959)

25. HEBERER,G.: "Aorta und große Gefäße", Springer, Berlin, Heidelberg, New York (1966)

26. HELLER,H.: "Angiografin in der zerebralen Angiographie", Fortschr.Röntgenstr. 111,437 (1969)

27. HILDEBRANDT,A.: HILDEBRANDT,G. "Oszillographische Praxis", Bosch u.Speidel, Jungingen (1958)

28. HILAL,S.J.: "Hemodynamic Changes Associated With The Intraarterial Injection Of Contrast Media", Radiology 86,615 (1966)

29. HOLLE,F.: "Neuere Hilfsmittel zur angiologischen Diagnostik", 72. Tagung d. Dtsch.Ges.f.Chir., München 1955, Langenbecks Archiv f.klin.Chir.(1955)

30. HUNDESHAGEN,H., GRAUL,E.H., BETZ,E.: "Über die Messung versch.Kreislaufgrößen mit Hilfe v. J 131-und J 132-markiertem Albumin", Atompraxis 87 (1958)

31. HUNDESHAGEN,H., HETTLER,M.G., GRAUL,E.H.: "Die Steuerung der Extremitäten-Angiographie mittels radioaktiver Substanzen", Atompraxis 1,26 (1960)

32. JOHNSON,TH.E.: "Angiography in the General Practise of Radiology, Radiology 81,37 (1968)

33. JUDMAIER,F.: "Zur Chirurgie der obliterierenden Gefäßkrankheiten an den unteren Gliedmaßen", Münchener med.Wochenschr. 100,836 (1958)

34. KAPPERT,A.: "Leitfaden und Atlas der Angiologie", Huber, Bern, Stuttgart (1966)

35. KRANEPUHL,F.: "Anzeigestellung zur Aortographie", Forschung, Praxis, Fortbildung 17, 15 (1966)

36. LANG,K., HANN,E.C., LUROS,TH.J.: "Arteriographic Demonstration of ext.-int. Carotid Anastomoses and Their Correlation to RIHSA Circulation Studies", Radiology 83,632 (1964)

37. LANGSJOEN,P.H., BEST,E.B.: "Studies in the Prevention of Complications in Angiography", Amer.J.Roentgenol. 106,425 (1969)

38. LOFFERER,O., MOSTBECK,A., PARTSCH,H.: "Untersuchungen zur Gefäßregulation d.Extremitäten mit besonderer Berücksichtigung arteriovenöser Shunts", Radioaktive Isotope in Klinik u.Forschung, 8.Band,Vorträge am Gasteiner internationalen Symposion,454,Urban u Schwarzenberg,München,Berlin,Wien (1968)

39. LOOSE,K.E.: "Zur Arteriographie", Fortschr. Röntgenstr. 76,496 (1954)

40. MAC INTYRE,W.J., STORAASLI,J.P., KRIEGER,H., PRITSCHARD,W., FRIEDELL,H.L.: "J 131-Labeled Serum Albumin: Its Use in the Study of Cardial Output and Peripheral Vascular Flow", Radiology 59,849 (1962)

41. MORCZEK,K., PFEIFFER,K.: "Radiojoduntersuchung der Extremitätendurchblutung und Angiographie", Radiolog.diagn.1,Heft 2 (1960)

42. MUCCHI,L., GOIDANICH,J.F., ZANOLI,S.: "Angiographie in der Knochenpathologie", Thieme, Stuttgart (1966)

43. PAESSLER,H.W.: "Die Angiographie zur Erkennung, Behandlung u.Begutachtung peripherer Durchblutungsstörungen", Thieme, Stuttgart (1952)

44. PAESSLER,H.W., BERGHAUS,H.: "Begutachtung peripherer Durchblutungsstörungen", Thieme, Stuttgart (1958)

45. RADKE,H.: "Die Bedeutung der Arteriographie des Fußes für die Diagnose der Gefäßkrankheiten", Zeitschr.Kreisl. Forsch. 46,516 (1957)

46. RAU,G.: "Indikation der Arteriographie in den verschiedenen Gefäßbereichen", Therapiewoche 17,216 (1964)

47. RODER,K.: "Ergebnisse bei der Arteriographie der unteren Extremitäten", Radiol. diagn. (Berlin) 5,216 (1964)

48. SCHUMACHER,W.: "Untersuchungen des peripheren Kreislaufes mit radioaktiven Substanzen", Fortschr.Röntgenstr. Beiheft,251 (1964)

49. SCHUMACHER,W., WITT,H.: "Herabsetzung der Strahlenbelastung bei Aorto-und Arteriographien durch Bestimmung der günstigsten Expositionszeiten mit Hilfe von J 131", Fortschr.Röntgenstr. 100,516 (1964)

50. SHIPS,F.C.: "Programmed Angiography",Amer.J. Roentgenol. 92,939 (1964)

51. SIEMENS-KALENDER: Technische Beilage 1970

52. SUZUKI,S.: "Arteriography of the Extremities. With an Analysis of the Occlusive Disease of the Arteries in the Lower Extremities", Amer.J.Roentgenol. 106,400 (1969)

53. VITEK,J., ZAVŘEL,J., HUVAR,A., KAŠPAR,H., MAMEŇY.M.: "Isotope Arteriography in the Obliterative Arterial Disease of the Lower Extremities,"Acta radiol. (Stockholm), Diagn. 6,465 (1967)

54. VÖLPEL,W.: "Der Arterielle Spasmus im angiographischen Bild", Fortschr.Röntgenstr. 86,79 (1957)

55. VUORINEN,P.: "Über einige Fragen der Angiographietechnik", Fortschr.Röntgenstr. Beiheft 53 (1966)

56. WEIS,J.: "Erfahrungen und Beobachtungen bei 400 Arteriographien", Fortschr.Röntgenstr. 86,79 (1957)

57. WELLAUER,J.: "Arteriographie der Extremitäten", in: Schinz,H.R.,Glauner,R.,Uehlinger,E.: Röntgendiagnostik, Ergebnisse 1952-56, Thieme, Stuttgart (1957)

58. WENTZLIK,G.: "Beitrag zur Technik der Extremitätenangiographie", Röntgenblätter 4,298 (1951)

59. zum WINKEL,K.: "Radioaktive Isotope in der klinischen Funktionsdiagnostik", Therapiewoche 17,2063 (1967)

II Danksagung

Ich möchte mich bei Herrn Privatdozenten Dr. H. Witt bedanken für die Stellung des Themas und für die Unterstützung, die er mir gewährte.

Ebenso möchte ich danken:

Herrn Chefarzt Privatdozent Dr. Schumacher von der Strahlenabteilung des Rudolf-Virchow-Krankenhauses für die Beratung bei nuklearmedizinischen Fragen;
Frau Oberärztin Dr. Bürger, die mich in vielen Detailfragen beriet.
Herrn Dipl.Ing. Krause von der Abteilung für Strahlungsphysik des Rudolf-Virchow-Krankenhauses danke ich für die Erklärung der physikalischen Zusammenhänge des bei der Expositionszeitbestimmung angewandten Testverfahrens.

F Anhang

I Lebenslauf

Ich wurde am 22. November 1942 als Sohn des Gerichtsvollziehers Bernhard Heidbüchel und seiner Frau Anni in Düsseldorf geboren.

Nach der Volksschule besuchte ich ab 1953 das Staatliche Gymnasium in Wesel/Niederrhein, wo ich 1963 das Abitur bestand. Im Sommersemester 1963 begann ich das Medizinstudium in Würzburg, nach dem Physikum ging ich für zwei Semester nach München; vom dritten klinischen Semester an studierte ich an der Freien Universität Berlin, wo ich im Frühjahr 1969 das Staatsexamen ablegte.

In der einjährigen Medizinalassistentenzeit arbeitete ich nacheinander in der Röntgenabteilung des Rudolf-Virchow-Krankenhauses, in der Chirurgischen Abteilung des Jüdischen Krankenhauses, in der HNO-Abteilung des Westend-Krankenhauses und in der I. Inneren Abteilung des Rudolf-Virchow-Krankenhauses.

Seit November 1970 bin ich im Städtischen Krankenhaus Heckeshorn als Assistenzarzt beschäftigt; ich möchte Facharzt für Lungen- und Bronchialheilkunde werden.

Druck:

Der Präsident der Freien Universität Berlin
- Universitätsdruckerei -

1 Berlin 41, Kelchstraße 31